

Review of Systems and a Novel Method for Indoor Geolocation Based on Wi-Fi Routers

Обзор систем и новый метод геолокации внутри зданий на базе Wi-Fi роутеров

Второв Фёдор Иванович

fvtorov@gmail.com

Москва, 2023

Статья посвящена решению проблемы дорогостоящего развертывания систем внутренней навигации. В качестве альтернативы предлагается система Audioloc, основанная на методе Wi-Fi "отпечатка пальца" (fingerprinting). Проведенный анализ показал, что основными препятствиями для широкого внедрения indoor-навигации являются высокая стоимость инфраструктуры, отсутствие единого стандарта и сложность условий внутри помещений.

Разработанная система устраняет эти барьеры:

Снижение затрат: Используется уже развернутая инфраструктура Wi-Fi роутеров.

Удобный интерфейс: Навигация реализована в формате аудиогuida, что упрощает взаимодействие для конечного пользователя.

Техническая реализация: Система включает серверную часть на Python/Flask и клиентские приложения для Android, что обеспечивает гибкость и простоту сбора данных.

Эксперименты подтвердили работоспособность системы в реальных условиях. Таким образом, Audioloc демонстрирует жизнеспособный подход к созданию недорогих и практичных систем внутренней навигации для объектов с плотным Wi-Fi покрытием.

Ключевые слова: Внутренняя навигация, Внутреннее позиционирование, Услуги на основе местоположения, Метод отпечатка пальца Wi-Fi, Маячная система, Wi-Fi технологии, Инфраструктурный тип внутренней навигации, Неинфраструктурный тип внутренней навигации.

Внутренняя навигация (indoor navigation) — это процесс обнаружения и направления людей, роботов или других объектов с устройствами внутри зданий, где GPS и другие спутниковые технологии недостаточно надежны и точны. Внутренняя навигация имеет множество преимуществ в практическом применении для науки, образования, бизнеса и культуры. Однако, внутренняя навигация также сталкивается со многими проблемами и ограничениями, для преодоления которых требуются различные современные методы и устройства.

Одной из главных особенностей внутренней навигации является то, что она может повысить безопасность и удобство людей, которым необходимо

ориентироваться в незнакомых или сложных зданиях, таких как аэропорты, торговые центры, музеи, больницы и офисы. Внутренняя навигация может помочь людям найти пункт назначения, не заблудиться, получить доступ к соответствующей информации и к персонализированным услугам в зависимости от их местоположения. Например, внутренняя навигация может помочь пассажирам найти выходы на посадку, зоны выдачи багажа и туалеты в аэропортах; покупателям — найти желаемые или рекламируемые товары торговых центрах; посетителям — нужные экспонаты, путеводители и карты в музеях; пациентам — врачей, встречи и рецепты в больницах; а сотрудникам — своих коллег, конференц-залы и помещения в офисах [1, 7].

Еще одно преимущество внутренней навигации заключается в том, что она может повысить эффективность и производительность различных операций и задач, связанных с внутренней средой, таких как управление активами и складскими запасами, мониторинг безопасности, реагирование на чрезвычайные ситуации и техническое обслуживание объектов. Внутренняя навигация может помочь найти и отслеживать статус людей или объектов внутри зданий или других внутренних помещений, таких как оборудование, транспортные средства, товары, персонал, клиенты и посетители.

Проблемы внутренней навигации

При реализации внутренней навигации можно столкнуться с трудностями, которые усложняют ее достижение по сравнению с навигацией на улице. Вот некоторые из основных проблем:

- 1. Отсутствие универсального стандарта или системы для внутреннего позиционирования.** В отличие от спутниковой навигации, которая широко используется и принимается для наружного позиционирования, не существует единого решения или технологии, которые могли бы обеспечить точное и надежное позиционирование и навигацию внутри помещений для всех заданных сценариев и приложений. Вместо этого существуют методы и устройства, использующие сигналы, датчики, алгоритмы и платформы для предоставления услуг позиционирования для внутренней навигации. К ним относятся точки доступа Wi-Fi / LiFi, маяки Bluetooth, маяки сверхширокополосного доступа, магнитное позиционирование, счисление пути, карта высокой четкости, обнаружение света и определение дальности, камеры, технология мобильной связи пятого поколения, сигналы Интернета вещей, оптические, радио или акустические сигналы [1]. Каждый метод или устройство имеет свои преимущества и недостатки с точки зрения точности, охвата, стоимости, масштабируемости, совместимости, безопасности, конфиденциальности и т.п. Поэтому выбор лучшего метода или устройства для конкретного приложения или сценария требует тщательной оценки и сравнения различных факторов.

2. **Сложность и изменчивость внутренней среды.** В отличие от внешней среды, которая относительно открыта и стабильна, внутренняя среда часто закрыта и изменчива. На внутреннюю среду влияет множество факторов, которые могут мешать распространению сигналов и устройствам приёма и передачи, используемым для внутреннего позиционирования и навигации. К ним относятся строительные материалы, планировка, мебель, стены, двери, окна, межэтажные перекрытия, условия освещения, температура, влажность, уровень шума, деятельность человека и т. д. Эти факторы вызывают затухание сигнала, отражение, преломление, дифракцию, рассеяние, поглощение, многолучевое распространение, шум и т. д., что может снизить точность и надёжность систем позиционирования и навигации внутри помещений [3, 5].

3. **Разнообразие и специфичность потребностей и предпочтений пользователей.** В отличие от пользователей наружной навигации, которые обычно имеют схожие, общие потребности, пользователи внутренней навигации могут иметь специфические предпочтения в зависимости от их целей, контекста и масштаба, выражающие разные ожидания и требования к точности, скорости, удобству, функциональности, интерактивности, персонализации, и конфиденциальности внутренних систем позиционирования и навигации:

- a. Ряд пользователей может предпочесть высокоточную систему, которая определит их местонахождение с точностью до сантиметра, в то время как другие могут быть удовлетворены системой с низкой точностью до нескольких метров.
- b. Некоторым нужна быстрая система, предоставляющая им обновления и обратную связь в реальном времени, тогда как другим может подойти медленная система, с предоставлением им периодической информации или по запросу.
- c. Кто-то предпочитает функциональную систему, которая может предоставить им основные направления и рекомендации, в то время как другие выбирают интерактивную систему, которая может предоставить им дополнительную информацию и услуги в зависимости от их местоположения.
- d. Некоторые пользователи могут предпочесть персонализированную систему, которая может адаптироваться к их предпочтениям и поведению, в то время как другие могут предпочесть общую систему, которая может работать для всех.
- e. Есть пользователи, предпочитающие частную систему, которая может защитить их данные о местоположении и личности, в то время как другие

не опасаются делиться своими данными о местоположении и личности для получения более качественных услуг.

Самая большая проблема с которой сталкиваются все системы внутренней навигации это стоимость установки и сложность калибровки системы, зависящих от размера и планировки внутреннего пространства, количества и типа точек доступа Wi-Fi, требований к точности и надежности, а также от используемых программно-аппаратных решений.

По данным Infsoft 2019 г [4], стоимость системы позиционирования Wi-Fi может варьироваться от 10 до 50 центов США за кв. м, в зависимости от сложности проекта. Решение проблемы внутренней навигации, описанное в предлагаемой нами разработке, не требует дополнительных затрат, и учитывает надежность и точность внутренней навигации на базе уже установленных маршрутизаторов Wi-Fi, однако не подходит для зданий с небольшим количеством роутеров.

Считаем, что в указанных ниже типах зданий, в которых часто установлено большое количество маршрутизаторов Wi-Fi, предлагаемый нами метод будет работать:

1. **Гостиницы:** отели часто имеют сеть маршрутизаторов Wi-Fi, обеспечивающих беспроводной доступ в Интернет для своих гостей в разных комнатах и зонах. Гостиницы также могут использовать маршрутизаторы Wi-Fi для подключения устройств своих сотрудников, камер видеонаблюдения и интеллектуальных устройств.
2. **Учебные заведения:** в школах может быть много маршрутизаторов Wi-Fi для обеспечения онлайн-обучения, совместной работы и общения между учащимися, учителями и персоналом. Эти крупные здания также могут использовать маршрутизаторы Wi-Fi для поддержки своего аппаратного обеспечения (ноутбуки, планшеты, смарт-доски и проекторы).
3. **Офисные здания:** в офисах часто много маршрутизаторов Wi-Fi, чтобы повысить производительность труда, мобильность и гибкость для своих сотрудников. Офисные центры также могут использовать маршрутизаторы Wi-Fi для подключения своих сетевых устройств (принтеры, сканеры, серверы и облачные сервисы).

Анализ существующих решений

Внутренние навигационные системы можно разделить на два основных типа: инфраструктурные и неинфраструктурные [14]. Инфраструктурные системы полагаются на внешние устройства или сигналы для предоставления информации о местоположении (точки доступа Wi-Fi, маяки Bluetooth, метки RFID), обеспечивающие высокую точность и масштабируемость, но требующие дополнительных затрат на установку и обслуживание. В настоящее время используются следующие технологии инфраструктурного типа внутренней навигации:

- **Wi-Fi:** сигналы WiFi можно использовать для оценки расстояния и угла между пользовательским устройством и точкой доступа WiFi на основе уровня принимаемого сигнала (RSS) или времени прибытия (TOA). Wi-Fi широко доступен и совместим с большинством смартфонов, но он также подвержен влиянию интерференции сигнала, эффектов многолучевого распространения и низкой частоты обновления. Не все типы точек доступа поддерживают измерения времени прибытия сигнала, следовательно, в таком случае данная технология не может быть использована. [6]
- **Bluetooth:** сигналы Bluetooth также используются для измерения расстояния и угла между пользовательским устройством и маяком Bluetooth на основе RSS или TOA. Bluetooth имеет более низкое энергопотребление и более высокую скорость обновления, чем Wi-Fi, но также имеет меньший радиус действия и точность. Bluetooth Low Energy (BLE) — новая версия Bluetooth, которая обеспечивает более длительное время работы от батареи и меньшую стоимость маяков. [6, 11]
- **Сверхширокополосный (UWB):** сигналы UWB представляют собой короткие импульсы, охватывающие широкий диапазон частот, что позволяет выполнять более точные измерения расстояния и угла на основе TOA или разницы во времени прихода (TDOA). UWB имеет более высокую точность и надежность, чем Wi-Fi и Bluetooth, но также увеличивает расходы на дополнительное оборудование и энергопотребление. UWB еще не так широко поддерживается смартфонами [6, 13]
- **Radio Frequency Identification – RFID:** RFID-системы состоят из RFID-меток, прикрепленных к объектам, и RFID-считывателей, которые сканируют метки. Метки RFID могут быть пассивными или активными, в зависимости от того, есть ли в них батарея или нет. Пассивные метки имеют более низкую стоимость и более длительный срок службы, но они также имеют меньший радиус действия и требуют большей мощности от считывателя. Активные метки имеют больший диапазон и производительность, но они дороже и с коротким сроком службы. Системы RFID могут обеспечивать идентификацию и отслеживание объектов, но их точность и масштабируемость ограничены. [12]

- **Оптическая система:** фото и видео системы используют камеры или другие датчики зрения для захвата изображений или видео внутренней среды, а затем используют методы компьютерного зрения для извлечения признаков, распознавания ориентиров или реконструкции 3D-моделей. Оптические системы могут предоставить богатую информацию и высокую точность, но они также требуют сильной вычислительной мощности и большой емкости памяти, и почти всегда хороших условий освещения. [2]

Неинфраструктурные системы не зависят от внешних устройств или сигналов, а скорее используют внутренние датчики пользовательского устройства или естественные особенности внутренней среды для предоставления информации о местоположении. Эти системы могут снизить затраты на установку и обслуживание оборудования, но они имеют более низкую точность позиционирования и надежность. Основные примеры технологий без инфраструктуры:

- **Инерциальные:** Инерциальные системы используют Inertial measurement unit -IMU, такие как акселерометры, гироскопы и магнитометры, для измерения линейного ускорения, угловой скорости и магнитного поля пользовательского устройства. Интегрируя эти измерения по времени, инерциальные системы могут оценивать относительное положение и ориентацию пользовательского устройства, используя технику, называемую счислением пути (dead reckoning). Инерциальные системы автономны и недороги, но их применение ограничивается кумулятивными ошибками и дрейфами с течением времени. Преимуществом такой системы является возможность калибровки или корректирования с помощью других инфраструктурных методов внутренней навигации.
- **Магнитные:** в магнитных системах используются магнитометры для измерения магнитного поля в помещении, на которое влияет присутствие ферромагнитных материалов, таких как стальные конструкции или электроприборы. Сравнивая измеренное магнитное поле с предварительно записанной магнитной картой внутренней среды, магнитные системы могут оценить абсолютное положение пользовательского устройства. Магнитные системы не зависят от условий освещения и взаимодействия с пользователем, но имеют низкую точность и стабильность из-за магнитных помех и временных вариаций.
- **Акустические:** акустические системы используют микрофоны или динамики для излучения или приема звуковых волн в помещении, необходимых для измерения расстояния или угла между пользовательским устройством и источником или приемником звука на основе TOA или TDOA. Акустические системы обеспечивают высокую точность на небольших площадях, но имеют

низкую масштабируемость и надежность из-за затухания звука, шумовых помех и эффектов многолучевости. [10]

Методология предлагаемого метода Wi-Fi позиционирования

Нами апробирован в 2023 году в крупном трёхэтажном образовательном центре один из лучших методов, который практичнее всего использовать для других форм внутренней навигации – «отпечаток пальца» (fingerprinting). “Метод отпечатка пальцев Wi-Fi” основан на идее, что каждое местоположение имеет уникальную подпись сигналов Wi-Fi, в зависимости от количества, положения и мощности маршрутизаторов поблизости. Измеряя и сравнивая эти сигналы, устройство может определить свое местоположение.

Снятие отпечатков пальцев Wi-Fi состоит из двух основных этапов: калибровки и запроса. На этапе калибровки создается база данных отпечатков пальцев Wi-Fi путем сбора и хранения информации о сигнале из разных мест. На этапе запроса устройство запрашивает базу данных со своей текущей информацией о сигнале и получает предполагаемое местоположение.

Фаза калибровки

Автономный этап включает сбор данных из разных мест и создание базы данных отпечатков пальцев Wi-Fi. Отпечаток Wi-Fi — это несколько значений, которые представляют информацию о сигнале от ближайших маршрутизаторов. Наиболее распространенными значениями являются идентификатор базового набора услуг (BSSID) и индикатор уровня принимаемого сигнала (RSSI) каждого маршрутизатора.

Для сбора данных устройство сканирует сигналы Wi-Fi в разных местах и записывает значения BSSID и RSSI каждого маршрутизатора, а также свое истинное местоположение полученное с помощью ориентиров, планов этажей или других методов. Данные могут собираться вручную или автоматически, в зависимости от приложения.

Собранные данные затем сохраняются в базе данных, которая может быть реализована в виде простой таблицы или более сложной структуры данных. База данных сопоставляет каждое местоположение с соответствующим отпечатком Wi-Fi.

Например, запись одной точки в базе данных может выглядеть так:

Location	BSSID 1	RSSI 1	BSSID 2	RSSI 2	...
(10, 20)	00:11:22:33:44:55	-60 dBm	66:77:88:99:AA:BB	-70 dBm	...

Это означает, что в точке (10, 20) устройство обнаружило два маршрутизатора с BSSID 00:11:22:33:44:55 и 66:77:88:99:AA:BB, а их значения RSSI были -60 дБм. и -70

дБм соответственно. База данных может периодически обновляться для учета изменений в среде, таких как новые маршрутизаторы или движущиеся препятствия. По результатам проведенных испытаний, мы пришли к выводу, что если для какой-то точки значение RSSI меньше чем -80 дБм, то часто устройство вообще не видит столь низкий сигнал Wi-Fi роутера с первого результата сканирования в фазе запроса, поэтому такие слабые значения фильтруются.

Фаза запросов

Этап запросов включает обращение к базе данных с текущей информацией о сигнале и получение предполагаемого местоположения. Устройство сканирует сигналы Wi-Fi в своем текущем местоположении и получает несколько значений BSSID и RSSI, которые устройство затем отправляет на сервер базы данных, где происходит сравнение его с сохраненными отпечатками.

Сходство между двумя отпечатками можно измерить с помощью различных показателей, таких как евклидово расстояние, косинусное сходство или взвешенное сходство. Метрика должна учитывать значения BSSID и RSSI каждого маршрутизатора.

Затем сервер базы данных возвращает местоположение, связанное с наиболее похожим на устройство “отпечатком пальца”. Это местоположение является приближенным к истинному местоположению устройства, которое может иметь некоторую погрешность в зависимости от точности сбора данных и метрики сходства.

Audioloc

Выбор методов реализации системы внутреннего позиционирования

По результатам анализа языков программирования нами был выбран Python 3, как самый удобный и гибкий в использовании. Для пользовательского интерфейса был выбран язык Java 11 как самый функциональный язык программирования для устройств Android. С помощью библиотеки Flask был создан внешний сервер с RESTful API, к базам данных отпечатков Wi-Fi и вычислениям которого программой обеспечивается доступ даже на непроизводительных устройствах.

Одно из главнейших преимуществ нашей системы — простота создания карты точек в здании, в котором будет проходить навигация. Чтобы загрузить и начать использовать базу данных требуется записать произвольное количество точек с помощью программы на мобильном андроид устройстве. Каждую точку требуется просканировать, затем она автоматически загружается на сервер.

По данным тестирования, сканирование и загрузка в БД 30 точек занимает около 10-15 минут.

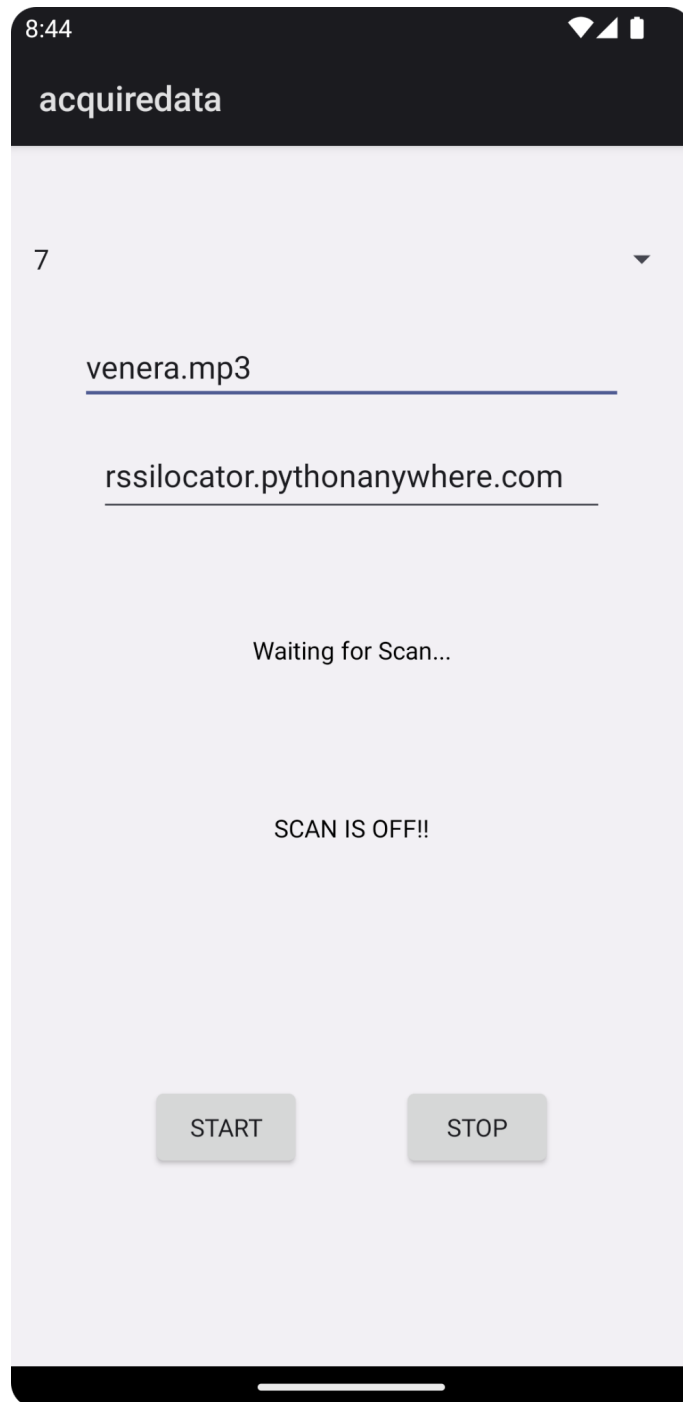


Рисунок 1.

Программа по заполнению базы данных –
AcquireData на мобильном устройстве Android 11

Описание и работа программы

Программа работает на мобильном устройстве только при наличии загруженной базы данных на сервер. Для работы с программой необходимо всего лишь выбрать базу данных, включить Wi-Fi на переносном устройстве и дать программе доступ к интернету. Программа передает серверу информацию о сетях и в ответ получает аудио файл в формате MP3 для описания ближайшей к телефону точки.

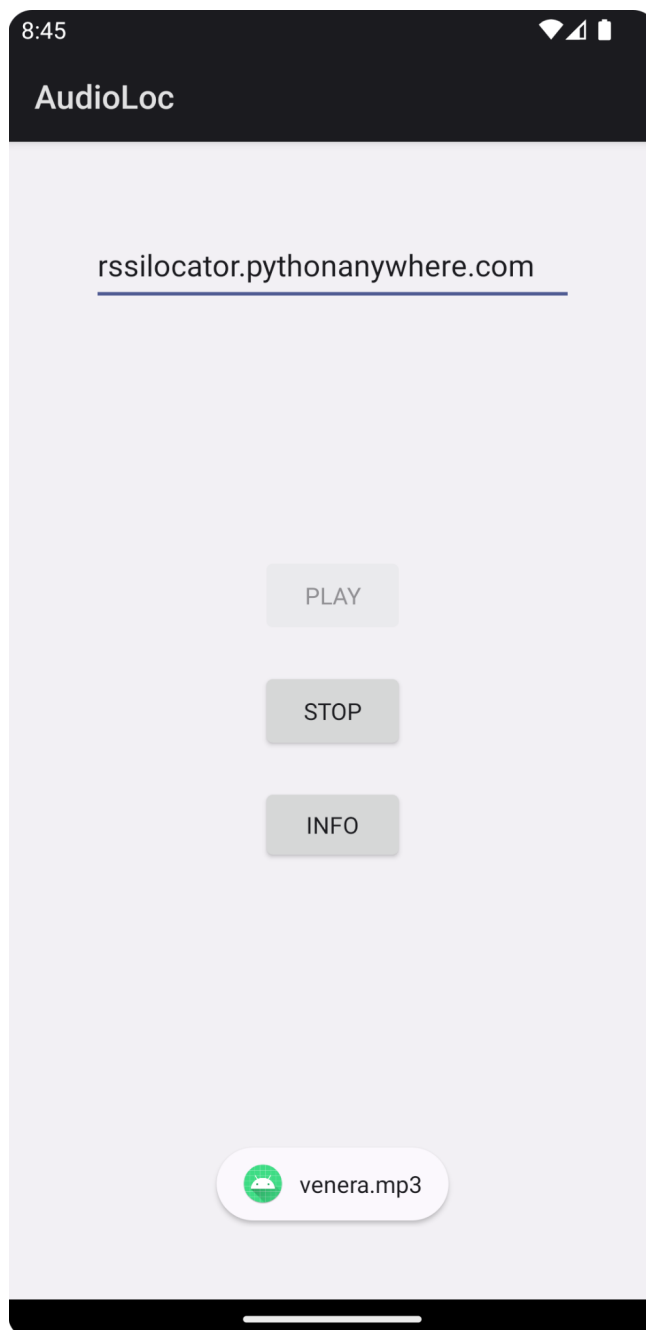


Рисунок 2.

Программа-аудиогид AudioLoc воспроизводит аудиозапись о картине «Рождение Венеры» Сандро Боттичелли

Устройство программы

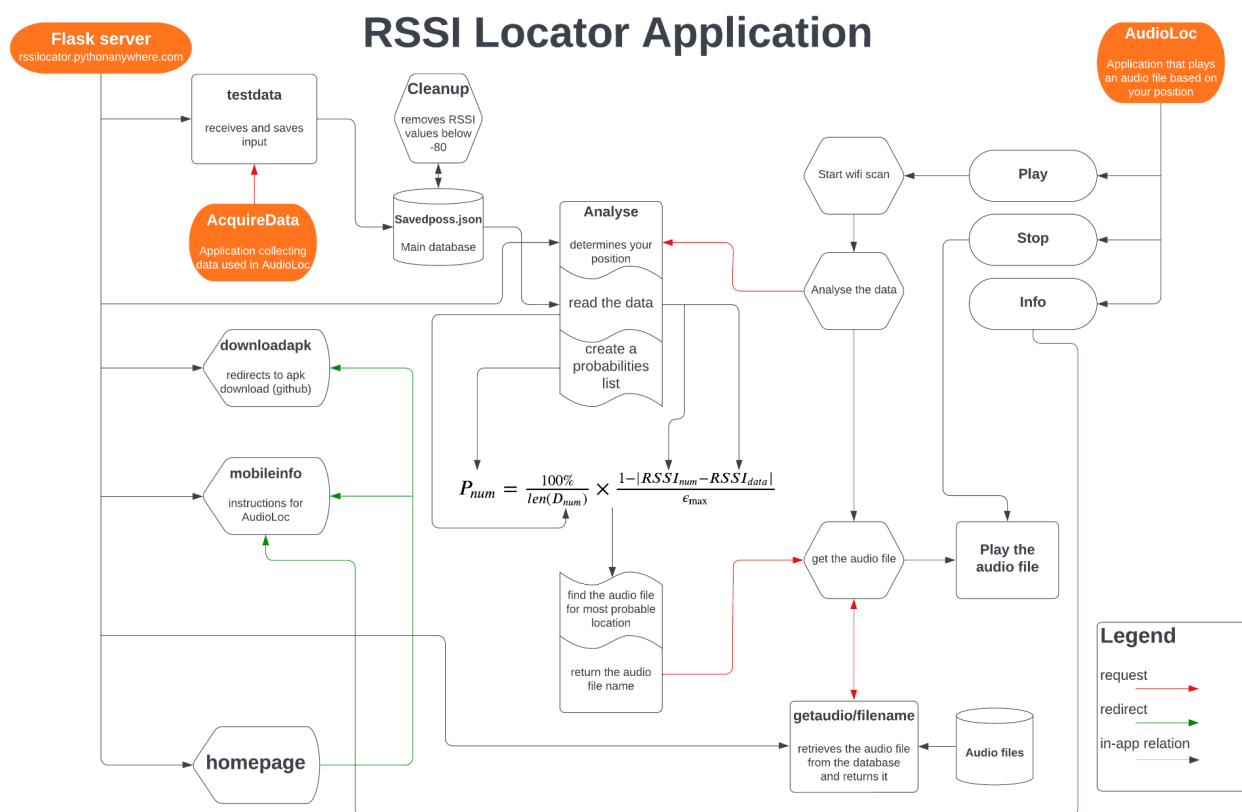


Схема 1 – описание программы

Всего в программе играют роль 3 важные части системы:

- Интернет-Сервер – хранилище базы данных, аудио файлов. Также на нем проводятся все вычисления.
- AudioLoc — основное приложение-аудиогид для демонстрации технологии внутренней навигации
- AcquireData — мобильное приложение для заполнения БД.

На схеме (Схема 1) представлены основные функции приложений и операционная связь между ними. Коды программ находится в открытом доступе на ресурсе github.com:

1. <https://github.com/BUSH222/rssitest>
2. <https://github.com/BUSH222/Audioloc>
3. <https://github.com/BUSH222/AcquireData>

Выводы

Таким образом, Audioloc – программа которая сочетает в себе приложение и аудиогид для обеспечения навигации в помещениях на основе Wi-Fi с использованием метода отпечатка пальца. Мы описали дизайн и реализацию этой наиболее простой и удобной системы внутреннего позиционирования, а также результаты оценки, которые показывают её точность и удобство использования. Мы также сравнили нашу систему с другими существующими методами внутренней навигации и обсудили ее преимущества и недостатки.

Наша система Wi-Fi позиционирования вносит свой вклад в область внутренней навигации, предлагая удобное, недорогое и масштабируемое решение, не требующее дополнительного оборудования или инфраструктуры. Это также улучшает взаимодействие с пользователем, предоставляя звуковую обратную связь и рекомендации, которые адаптируются к местоположению и предпочтениям пользователя.

В качестве будущей работы мы планируем расширить нашу систему в нескольких направлениях. Во-первых, мы хотим повысить точность и надежность метода отпечатка пальца за счет включения других датчиков, таких как акселерометр, гироскоп и магнитометр. Во-вторых, мы хотим обогатить аудиоконтент и сделать его более интерактивным и персонализированным, используя методы обработки естественного языка и распознавания речи. В-третьих, мы хотим изучить другие приложения нашей системы, такие как образование, туризм, музейное дело и развлечения. Наконец, мы хотим протестировать нашу систему в более крупных и сложных помещениях и с более разнообразными группами пользователей.

Литература и ссылки

1. Satellite Navigation and Communications for Autonomous Vehicles: A Review of Recent Advances and Future Directions.
<https://satellite-navigation.springeropen.com/articles/10.1186/s43020-021-00041-3> Accessed on August 28, 2023.
2. A Survey of Indoor Navigation Systems: Techniques and Technologies.
<https://arxiv.org/abs/2105.08756> Accessed on August 28, 2023.
3. Indoor-Outdoor Navigation Explained.
<https://mapsted.com/blog/indoor-outdoor-navigation-explained> Accessed on August 28, 2023.
4. Indoor Navigation Using Wi-Fi as a Positioning Technology.
<https://www.infsoft.com/blog/indoor-navigation-using-wifi-as-a-positioning-technology/> Accessed on August 28, 2023.
5. A Comprehensive Review of Indoor Navigation Systems: Recent Advances and Future Directions.
<https://hcis-journal.springeropen.com/articles/10.1186/s13673-020-00222-0> Accessed on August 28, 2023.

6. UWB, WiFi, Bluetooth: Navigation Technologies for IoT.
<https://navigine.com/blog/uwb-wifi-bluetooth-navigation-technologies/>. Accessed on August 28, 2023.
7. What is Indoor Navigation? <https://nearmotion.com/news/what-is-indoor-navigation/> Accessed on August 28, 2023.
8. Indoor Navigation: A Comprehensive Guide.
<https://navigine.com/blog/indoor-navigation-a-comprehensive-guide/> Accessed on August 28, 2023.
9. Indoor Navigation and Mapping. <https://www.resonai.com/indoor-navigation>. Accessed on August 28, 2023.
10. Table 3 from “Satellite Navigation and Communications for Autonomous Vehicles: A Review of Recent Advances and Future Directions”.
<https://satellite-navigation.springeropen.com/articles/10.1186/s43020-021-00041-3/tables/3>
Accessed on August 28, 2023.
11. Wireless Connectivity Options for IoT Applications: Asset Tracking.
<https://www.bluetooth.com/blog/wireless-connectivity-options-for-iot-applications-asset-tracking/>
Accessed on August 28, 2023.
12. Overview of Indoor Navigation Technologies.
<https://www.it-jim.com/blog/overview-of-indoor-navigation-technologies/> Accessed on August 28, 2023.
13. Ultra-Wide Band (UWB) Location Tracking.
<https://www.rfiddiscovery.com/en/content/ultra-wide-band-uwb-location-tracking> Accessed on August 28, 2023.
14. A Comprehensive Survey of Indoor Positioning Systems. <https://www.mdpi.com/2305-6703/2/2/12>
Accessed on August 28, 2023.

Review of Systems and a Novel Method for Indoor Geolocation Based on Wi-Fi Routers

Fedor I. Vtorov

fvtorov@gmail.com

Moscow, 2023

Abstract: This paper presents a comprehensive analysis of existing indoor geolocation systems and introduces a novel infrastructure-free positioning method utilizing existing Wi-Fi routers. The study addresses key challenges in indoor navigation, including infrastructure costs, signal interference, and the absence of universal standards. The proposed Wi-Fi fingerprinting method demonstrates a cost-effective alternative to traditional beacon-based systems, leveraging pre-installed wireless infrastructure for accurate indoor positioning. Experimental results from a three-story educational facility validate the method's practical applicability and performance in real-world environments.

The article addresses the challenge of high deployment costs associated with indoor navigation systems. As an alternative, the Audioloc system is proposed, which is based on the Wi-Fi fingerprinting method. Conducted analysis has demonstrated that the primary obstacles to the widespread adoption of indoor navigation are the considerable cost of infrastructure, the absence of a universal standard, and the complexity of indoor environmental conditions.

The developed system mitigates these barriers through the following means:

Cost Reduction: The system leverages pre-existing Wi-Fi router infrastructure, eliminating the need for dedicated hardware.

User-Friendly Interface: Navigation is implemented within an audio guide format, thereby simplifying the end-user interaction.

Technical Implementation: The system architecture comprises a Python/Flask server backend and client applications for Android, ensuring both flexibility and simplicity in data acquisition.

Experimental results have confirmed the system's operational capability under real-world conditions. Consequently, Audioloc demonstrates a viable approach to the creation of cost-effective and practical indoor navigation systems for premises with dense Wi-Fi coverage.

Keywords: Indoor Navigation, Indoor Positioning, Location-Based Services, Wi-Fi Fingerprinting Method, Beacon System, Wi-Fi Technologies, Infrastructure-Based Indoor Navigation, Infrastructure-Free Indoor Navigation.

基于Wi-Fi路由器的室内地理定位系统综述及新方法

Fedor I. Vtorov (fvtorov@gmail.com) 莫斯科 2023年

摘要: 本文对现有室内地理定位系统进行了全面分析, 并提出了一种利用现有Wi-Fi路由器的新型无基础设施定位方法。该研究解决了室内导航中的关键挑战, 包括基础设施成本、信号干扰以及缺乏通用标准等问题。提出的Wi-Fi指纹识别方法展示了一种相较于传统信标系统的经济有效替代方案, 通过利用预安装的无线基础设施实现精确的室内定位。在一个三层教育设施中进行的实验结果验证了该方法在实际环境中的适用性和性能表现。

关键词: 室内导航, Wi-Fi指纹识别, 信标系统, 无基础设施导航, 基于位置服务, 室内定位系统